

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

**Hornicko-geologická fakulta**

Institut environmentálního inženýrství

## OPTIMALIZACE FLOTACE UHLÍ

Optimalization of coal flotation

diplomová práce

**Autor:**

Bc. Miroslav Kvita

**Vedoucí diplomové práce:**

prof. Ing. Peter Fečko, CSc.


Ostrava 2011

## PROHLÁŠENÍ

- celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution – NonCommercial – ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracovala samostatně.

V Ostravě dne 28.4.2011

podpis: 

Bc. Miroslav Kvita

## **Abstrakt**

Uvedená práce se zabývá problematikou optimalizace flotace uhlí z Dolu Darkov. Při flotaci bylo testováno zahuštění flotačního rmutu a byly testovány také nové flotační činidla, které vznikly pyrolýzou odpadních látek. Z výsledků práce vyplývá, že nejlepší zahuštění je 100 gramů na litr a že pyrolýzní oleje je možné aplikovat ve flotaci černého uhlí.

**Klíčová slova:** flotace, černé uhlí, pyrolýzní oleje

## **Abstract**

This diploma thesis show problematic of optimisation coal flotation from Mine Darkov. During application of flotation was tested of condition of flotation slurry and were tested flotation collectors from pyrolysis of wastes materials. From results of this work follow, that pyrolysis oil we can applied by flotation and optimum of coal slurries is 100 gram per liter.

**Keywords:** flotation, black coal, pyrolysis oils

## Obsah

1. ÚVOD .....	6
2. CÍL PRÁCE.....	7
3. HISTORIE FLOTACE.....	8
3.1. Olejová flotace.....	8
3.2. Filmová flotace .....	8
3.3. Bublínková metoda.....	8
3.4. Pěnová flotace a první stroje .....	9
3.5. Počátky flotace uhlí .....	10
3.6. Významní údaje historie .....	15
4. VÝZNAM FLOTACE .....	16
4.1. Podstata a přednosti flotace .....	16
4.2. Principy flotace.....	17
4.3. Soustava flotačních procesů .....	18
4.3.1. Fáze tuhá .....	19
4.3.2. Fáze kapalná.....	19
4.3.3. Fáze plynná .....	20
4.4. Elementární akt flotace .....	21
4.5. Flotační reagenty .....	22
4.6. Schéma flotace.....	23
5. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ FLOTACI.....	24
5.1. Smáčenlivost.....	25
5.2. Obsah užitečné složky v surovině a zrnitost .....	26
5.3. Teplota a reagenční režim flotace.....	26
6. FLOTACE UHLÍ .....	28
6.1. Flotační proces.....	28
6.1.1. Složení uhlí.....	29
6.1.2. Příměsi.....	30
6.2. Flotovatelnost uhlí .....	31
6.3. Schéma flotace uhlí .....	32
6.3.1. Uhlí reagenty.....	33
7. PETROLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA TESTOVANÝH VZORKŮ .....	34
7.1. Metodika a výsledky pyrolýzních testů .....	36

7.2. Metodika provádění flotačních testů .....	39
8. Závěr.....	41
9. Literatura .....	42
10. Seznam obrázků .....	43
11. Seznam tabulek .....	43

## 1. ÚVOD

Uhlí je surovina dobývaná pro četná průmyslová odvětví. Globální význam uhlí v lidské společnosti je na začátku 21. století univerzální. Používá se v metalurgii, energetice, chemii a dalších odvětvích průmyslu.

V současné době těžba černého uhlí stagnuje, avšak spotřeba užitkových surovin, jejichž přírodní zdroje jsou neobnovitelné a lidskou činností vyčerpitelné, se zvyšuje. Míra útlumu v uhelném hornictví je závislá na vývoji mezinárodních a vnitrostátních podmínek. Dalším významným faktorem, který toto ovlivňuje je plnění mezinárodní dohody o postupném snižování oxidů síry vypouštěných do ovzduší. Stojí před námi otázka, jak tyto problémy související s útlumem těžby řešit. Jednou z možností je co nejdokonalejší zpracování těženého uhlí a maximální využití jeho hořlavé složky.

Tato tendence klade před úpravnictví nové úkoly – zpracovávat a komplexně využívat nejjemnější uhelné frakce, které vznikají v procesech úpravy černého uhlí. Vzniklý velký podíl kalových frakcí se nedá upravit klasickými způsoby úpravy. Tyto frakce potom odcházejí z úpraven nevyužité, dostávají se do oběhových vod úpravy, způsobují zhoršení procesů sedimentace, filtrace, dochází k znečištění vodních toků a ztrátám cenné suroviny, protože uhelné kaly jsou odvodňovány na kalových polích nebo lagunách a dále zůstávají nevyužity.

Technologické postupy úpravy nerostných a druhotných surovin, kterými je možno řešit důležitou úlohu zabezpečení efektivního, racionálního a komplexního využívání surovinových zdrojů, je flotace, flokulace, popř. jejich kombinace flotoflokulace.

Flotací, jako technologickým postupem úpravy nerostných a druhotných surovin, je možno řešit důležitou úlohu zabezpečení efektivního, racionálního a komplexního využívání surovinových zdrojů. Flotace je jedním ze způsobů, kterým lze zpracovat jemný nehomogenní černouhelný kal.

Flotace uhlí se zabývá rozduřováním nejjemnějších podílů těženého uhlí, které vznikají otěrem a rozpadem v průběhu jeho těžby a úpravy. V praxi se využívá pouze na úpravu koksovatelného uhlí. Flotace v uhelném úpravnictví je doplňkem jiných způsobů rozduřování, doplňkem velmi důležitým a často potřebným, zejména v souvislosti se stále

narůstajícím podílem jemnozrnných podílů v důsledku zvýšeného stupně mechanizace dobývání uhlí.

Se zdokonalováním selektivnosti flotace je možno v současné době využívat i staré odvaly jako zdroj surovin. Tyto odvaly se dříve nedaly využít. Při flotaci uhlí se využívá flotace k rozdělení velmi jemných podílů, které by jinak přecházely do odpadu. Dále je možnost využití flotace k získávání uhlí pro energetické účely ze starých odkališť.

Tímto způsobem jde odstranit značný podíl jalové složky ze rmutu a tím ho obohatit. Selektivní flotace může být konečnou rozdělovací metodou nebo jen částí celkového úpravnického procesu, která vede k předběžnému obohacení rmutu, před dalším úpravnickým procesem. Nedílnou součástí flotačního procesu je taky aplikace vhodného sběrače, který by byl ekologicky i ekonomicky zajímavý, a proto je nutné hledat stále nové sběrače, které by dané podmínky splňovaly.

## **2. CÍL PRÁCE**

Cílem práce byl výzkum optimalizace flotace černého uhlí z Dolu Darkov a to aplikací tří nových pyrolýzních olejů vzniklých pyrolýzou hnědouhelných dehtů a sledování vlivu zahuštění na proces flotace. Cílem práce bylo dosažení kvality flotačních koncentrátů s obsahem popela pod 10 %. Flotační experimenty byly realizovány na černém uhlí z Dolu Darkov.

## TEORETICKÁ ČÁST

### 3. HISTORIE FLOTACE

#### 3.1. Olejová flotace

Rozhodující vliv na rozdělování flotačním způsobem měly dnes již nepoužívané metody, ale přesto velmi významně přispěly k poznání podstaty tohoto procesu.

K předchůdcům dnešních způsobů flotace, je nutno zařadit oddělování užitečných složek od nepotřebných, využitím přitažlivosti olejových látek se sulfidy. Tuto vlastnost zjistil v roce 1860 W. Hayens. Jemně rozemletá ruda se mísí s velkým množstvím oleje. Jalová zrna smáčená vodou nemají možnost zachytit olejové látky na svém povrchu, olejem je pokrytý povrch užitečných látek a vynáší je na hladinu rmutu. Tento způsob olejové flotace měl velmi vysokou spotřebu flotačních olejů, až 30% hmotnosti upravované rudy.[1]

#### 3.2. Filmová flotace

Současně s *olejovou flotací* byla vyvinuta *filmová flotace*, kde se využívá povrchového napětí vody. Využíval se známý jev, že na hladině vody u fázového rozhraní voda – vzduch se vytváří povrchová blána s povrchovým napětím  $0,07275\text{N/m}$ . Jemně rozemletá ruda se opatrně sypala na klidnou vodní hladinu. Špatně smáčená zrna zůstávala na hladině a dobře smáčená jalová zrna klesala přes povrchovou blánu ke dnu. Bez použití flotačních přísad nebo olejů.[1]

#### 3.3. Bublínková metoda

Významnější bylo pro rozvoj flotace použití bublinek plynu. V roce 1877 v Drážďanech byl patentován způsob selektivního pokrytí povrchu grafitových zrn olejem. Minerální oleje v množství do 10% hmotnosti rozemleté rudy působily jako sběrače. Bublínky nejdříve z vodní páry, vznikající bodem varu, později výroba bublinek působením kyseliny na vápenec.



V roce 1902 v Austrálii použita nová metoda. Nepoužíval se olej, ale síla adheze mezi bublinkami plynu a sulfidy. Při teplotě 80 až 90°C se do rmutu přiváděla kyselina sírová, která uvolňuje v rudě oxid uhličitý. Zrnka rudy byla vynášena bublinkami plynu na povrch rmutu a tvořila mineralizovanou pěnu, nepotřebná zrna klesala ke dnu. I v této metodě se ještě nepoužívaly flotační přísady. [1]

### **3.4. Pěnová flotace a první stroje**

V roce 1885 v USA byl patentován A. Evertonem flotační proces - *metoda pěnové flotace* již vhodná pro průmyslovou úpravu sulfidů. Do rmutu se kromě flotačního oleje přidávala i kyselina sírová, zvýšila se tím rychlost oddělování užitečných zrn sulfidů. První flotační stroj v roce 1898 byl vyroben ve Velké Británii.

První vědec, rus L. G. Gurvič v roce 1871 - 1929 vypracoval teoretický základ hydrofobnosti a hydrofilnosti povrchu tuhých látek, hypotézu o povrchové energii v souvislosti s probíhajícími procesy v suspenzích. Jeho práce podstatně přispěla k dalšímu rozvoji fyzikálně-chemických základů teorie flotace.

Velký význam pro rozvoj flotace měl v roce 1903 vznik společnosti Mineral Separation Ltd. ve Velké Británii. Byli v ní soustředěni tehdejší nejlepší odborníci v oboru flotace. V roce 1905 obdržela společnost patent na úpravu rudy pěnovou flotací. Dle něho se rmut provzdušňuje rychle otáčejícím se míchadlem a minerální zrna se opracovávají olejovými přísadami. V roce 1914 se začaly používat pneumatické flotační stroje, kde se vzduch vháněl pod tlakem pórovitým dnem. Do roku 1920 se činnost zaměřila na vývoj flotačních strojů, až počátkem třicátých let na výzkum flotačních metod. [1]

### **3.5. Počátky flotace uhlí**

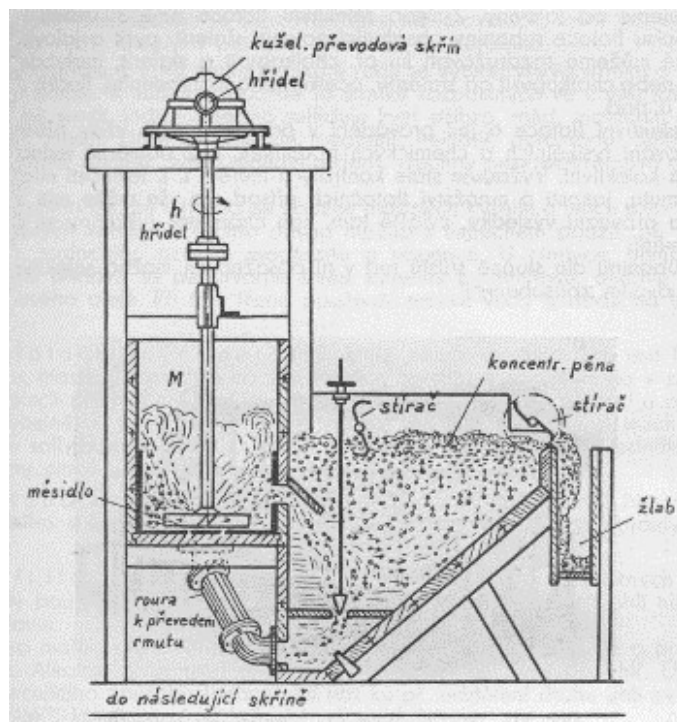
Na rozduřování uhlí se flotace rozšířila ve dvacátých letech, kde se dosáhlo postupně výborných úspěchů při získávání koksovatelného uhlí, zmenšování popelnatosti a síry v uhlí. [2]

Flotace vychází ze smáčivosti zrněk rmutu. Promícháním rmutu s flotační směsí oleje, pěnidla a separačních přísad a jeho propěněním se rudná zrnka váží na vzniklou pěnu, která plave na hladině, kdežto jalová hornina s nízkou smáčitelností zůstává u dna flotátoru.

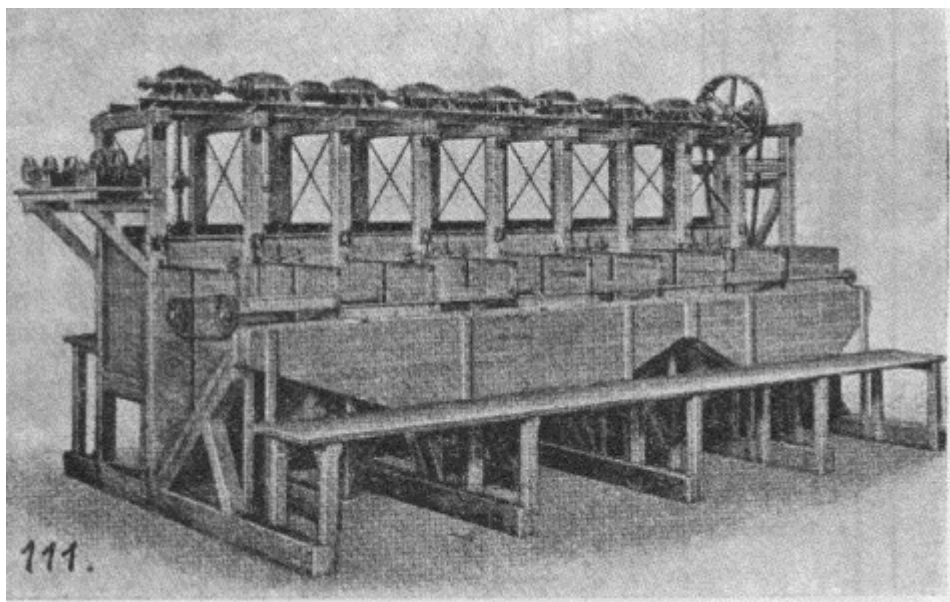
Flotace se provádí kolektivní, kdy se oddělují ze rmutu společně všechny rudné složky, nebo selektivní, kdy pomocí různých chemických potlačujících a modifikačních přísad probíhá postupně oddělení jednotlivých rudných složek.

Flotátory se dělí podle způsobu práce na míchadlové (agitační), kde se vzduch dostává do flotované směsi vlastním mechanickým zařízením; pneumatické, do kterých je veden tlakový vzduch z kompresoru; kombinované, opatřené mechanickou míchačkou a přívodem tlakového vzduchu; vakuové, kde je vzduch do směsi nasáván vývěvou; hydraulické, kde je vzduch do směsi strháván rychlým prouděním rmutu. Flotátory se staví do baterií několika strojů pro postupnou flotaci jednotlivých složek.

Základní princip agitačních flotátorů je takový, že v jedné části flotátoru je rmut míchán míchací vrtulí s flotačními přísadami a odtud je směs vedena do druhé části, kde se proudění uklidní, rudná pěna vyplave k hladině, kde je shrnována a odvedena k dalšímu zpracování. Flotační odpad je veden do další komory, kde se opět mísí s dalšími přísadami a flotuje se další složka. Na konci baterie odchází jalovina na odkaliště.

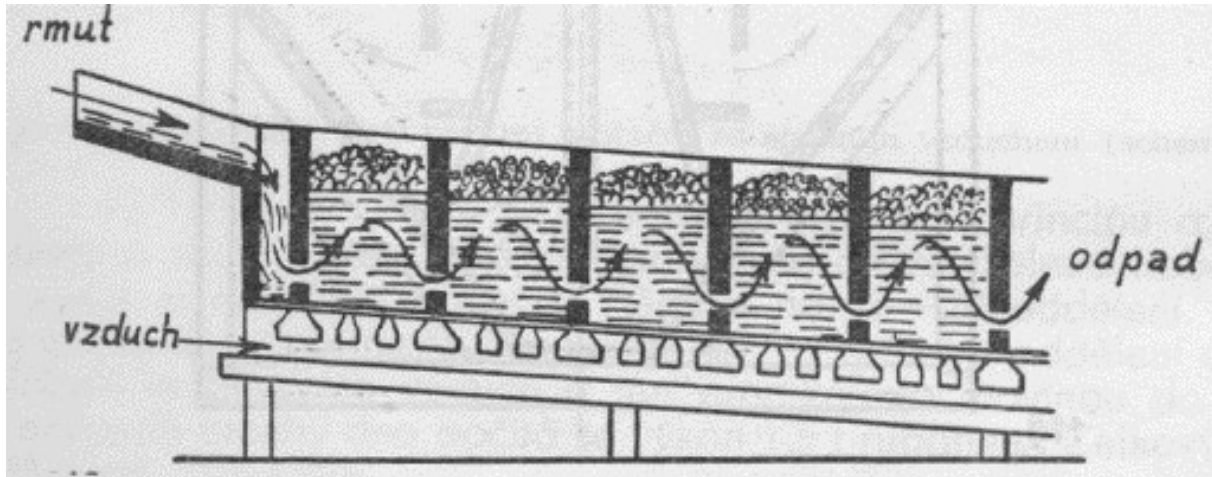


Obrázek 1: Agitační flotátor

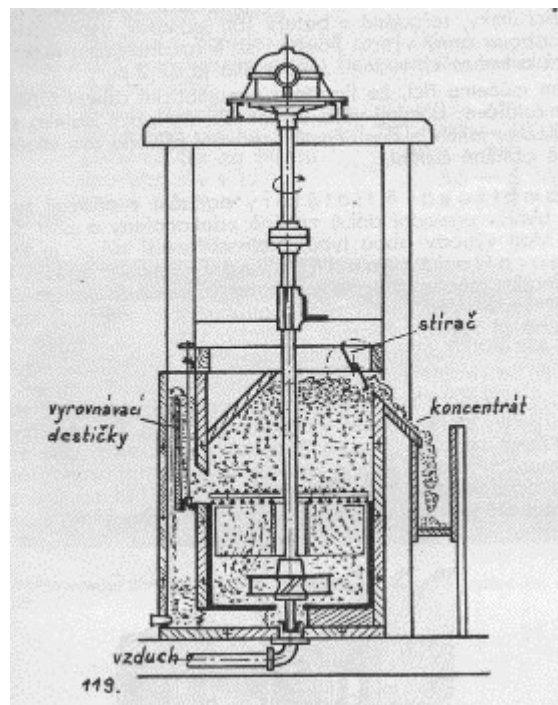


Obrázek 2: Kolónový agitační flotátor

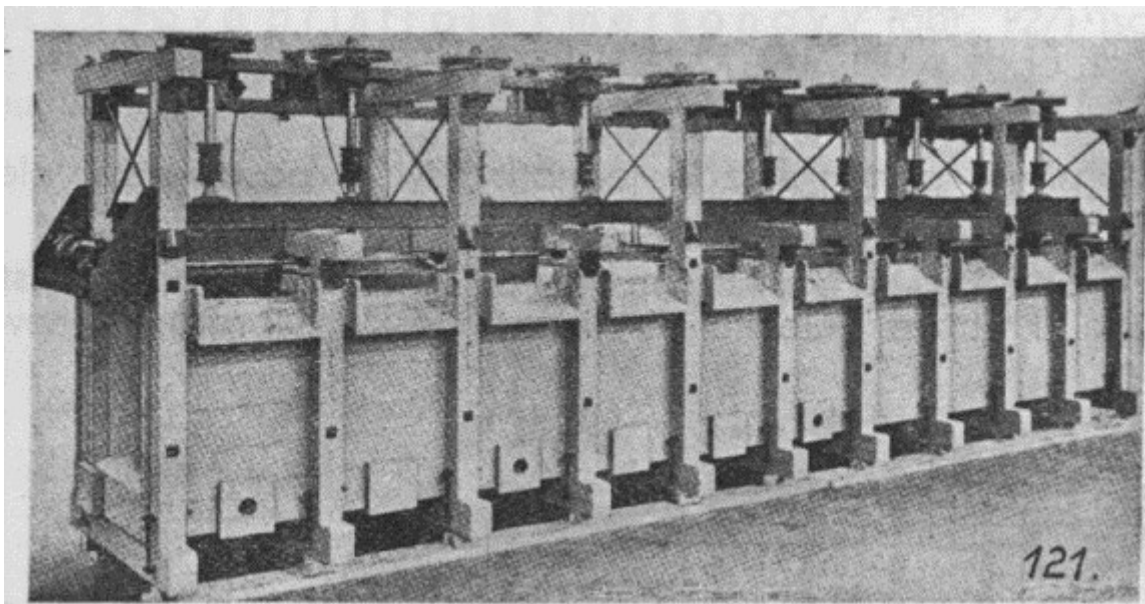
Pneumatické flotátory jsou tvořeny komorami, které mají u dna přívod tlakového vzduchu. Do komor přitéká rmut s flotačními přísadami. Tlakový vzduch směs propěňuje a na hladině se tvoří rudná pěna.



Obrázek 3: Pneumatický vícekomorový flotátor

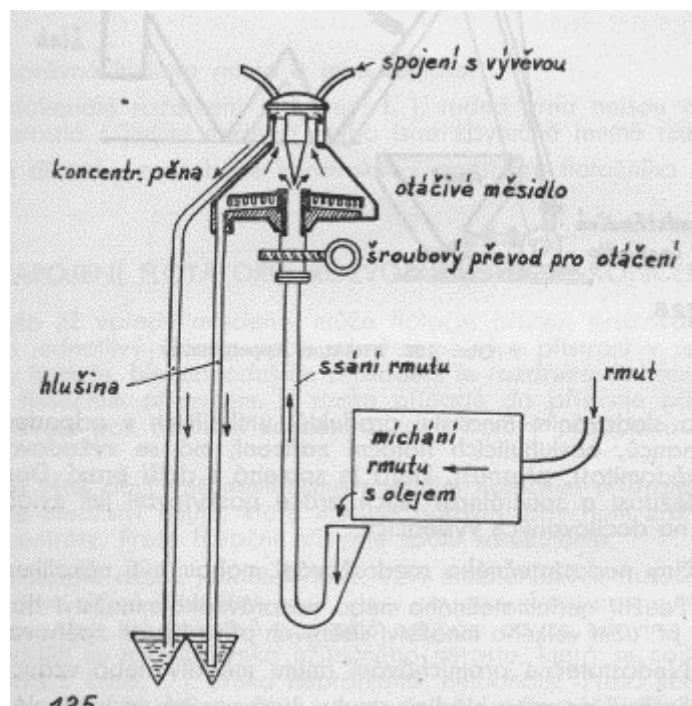


Obrázek 4: Pneumatický flotátor



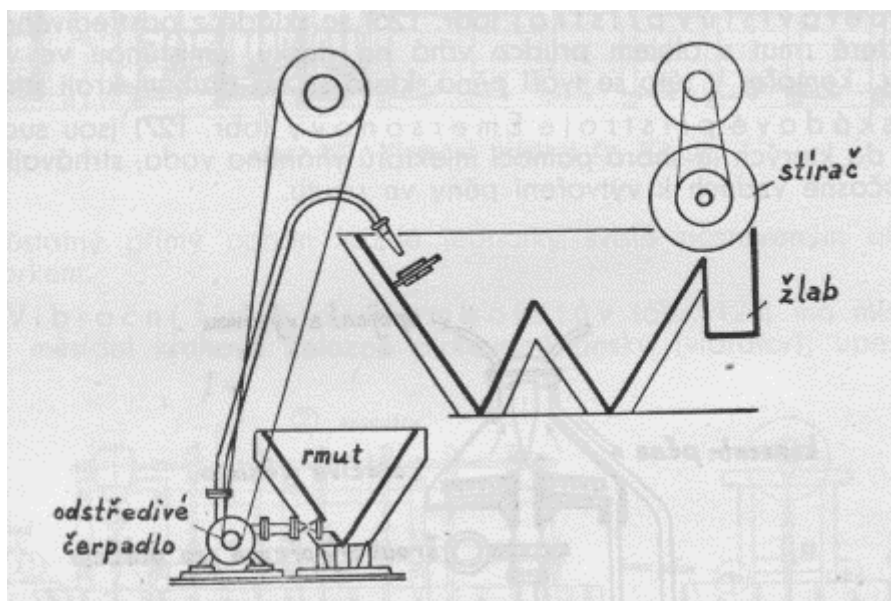
Obrázek 5: Kolónový pneumatický flotátor

Vakuové flotátory jsou podobné pneumatickým, jen s tím rozdílem, že není přiváděn tlakový vzduch z kompresoru, ale vlivem podtlaku nad hladinou je volně nasáván.



Obrázek 6: Vakuový flotátor

Hydraulické flotátory se v praxi neujaly. Pracují na principu prudkého vstřikování flotované směsi nebo vody proti překážce. Při tom dochází k provzdušnění a po uklidnění se odvádí rudná pěna.



Obrázek 7: Hydraulický flotátor

Již dříve se fyzikálně - chemický výzkum zaměřoval na reagenční systém a adsorpci flotačních reagentů u fázového rozhraní minerál – roztok. Věnovali se této problematice všichni významní tehdejší vědci v oblasti koloidů, jako A. Langmuir 1917, J. Hardy 1912, M. Bartch 1924, W. Ostwald 1935 a A. Adam 1944. Fyzikální mechanismus vztahu soustavy bublina – minerál byl v té době celkem neznámý. V tomto období se věřilo, že lze flotační proces pochopit a řídit jen podle adsorbční a flotační schopnosti.

Proces vzájemného působení pevných částecek a bublin stimuloval v roce 1934 S. Nilson, později M. A. Ejgeles, V. A. Glembocku a další. V Austrálii se zabývali vlastnostmi tenkého vodního filmu mezi částičkou a bublinou v souvislosti s elementárním aktem flotace.

Po druhé světové válce se výzkum věnoval především fyzikálním vztahům vzájemného působení minerálních zrn a bubliny vzduchu při flotačním procesu. Otázky teorie a praxe se posuzují na základě vědeckých disciplín, jako jsou všeobecná, fyzikální, organická a koloidní chemie, fyzika tuhé fáze, mineralogie, aerodynamiky a hydrodynamiky.[1]

### 3.6. Významní údaje historie

E. Elmuir v roce 1904 navrhl výrobu bublin pro flotaci pomocí elektrolýzy a vakua a zvýšení intenzity míchání a provzdušňování flotačního prostředí.

Od roku 1912 se rozvíjí selektivní flotace, používají se činidla pro regulaci flotace /oxid siřičitý/. Patenty na flotační reagence se objevují v roce 1920 na velké množství minerálů. Do této doby se používaly jen nepolární oleje jako sběrače. V roce 1921-26 i různé organické sloučeniny vhodné pro flotaci, později kationtové aktivní sběrače.

Začalo období intenzivního bádání zaměřeného na vztah minerál-reagence. Soustavně se zabývají studiem jevů a procesů, které rozšiřují teoretické základy flotace, objevují nové flotační reagence. Nejdříve se flotace užívala jenom při úpravě sulfidů, postupným zdokonalením flotačních metod se zavádí účinnější činidla, dokonalejší flotační stroje.

Flotace se rozšířila na další nerostné suroviny a na úpravu koksovatelného uhlí, proniká do jiných průmyslových odvětví, uplatňuje se při zachycování odpadních látek z kalů tvořících se při výrobě papíru, textilu, syntetických vláken, zemědělském a potravinářském průmyslu. [1]

## 4. VÝZNAM FLOTACE

### 4.1. Podstata a přednosti flotace

Flotace jako metoda rozduřování užitečných nerostů se řadí mezi největší technické úspěchy minulého století, flotačním procesem se na celém světě ročně upravuje dva tisíce milionů tun surovin. Je a zůstane nejrozšířenějším způsobem rozduřování i v budoucnosti, uplatňuje se u velkého množství rud neželezných, ušlechtilých kovů.

Dále se využívá při získávání jednotlivých složek z druhotných zdrojů surovin, v biotechnologii a při čištění odpadních vod v různých průmyslových oborech. Flotací řešíme i hospodářskou situaci k zajištění efektivního a komplexního využívání surovinových zdrojů.

Hlavní význam a přednosti flotace před jinými způsoby rozduřování je v tom, že lze získat jemně rozptýlené a jemně prorostlé užitkové složky nerostných surovin všech druhů. Před zavedením flotační úpravy přecházela větší část velmi jemně rozptýlených a prorostlých užitkových monominerálních a polyminerálních surovin do odpadu na odval. Obsah užitečných složek v odpadech gravitační úpravy býval často velký.[3]

Zavedením flotace se podstatně rozšířily možnosti získávat i u rud s nízkým obsahem pod 0,1% užitečné látky. Velmi významnou předností flotace je schopnost komplexního získávání a využití všech složek suroviny. Flotace způsobila v rozduřování skutečný převrat. Do jejího zavedení se dal získat jen společný koncentrát, protože užitečné minerály, které mají velmi blízké fyzikální vlastnosti, nebylo možné oddělit ani gravitačními, magnetickými či jinými úpravami rozduřování. Společné koncentráty nejsou vhodné např. pro vsázku k účinnému hutnickému procesu, tím se získával jen jeden kov a ostatní byly ztraceny. Selektivní flotací je možné vytěžit všechny minerály, i když se vyskytují jenom ve stopovém množství.

Flotace je tedy jediným způsobem selektivního využití každého minerálu do koncentráту, tohoto se nedosáhne žádným jiným způsobem rozduřování. Flotací řešíme problémy úpravy velmi jemných zrn a kalových podílů. Při gravitační úpravě se suroviny často nadměrně rozdrobují a tvoří se kal obsahující užitkové složky společně s průvodními horninami. Bez použití flotace nelze tyto kaly využít v upravené podobě. Flotační technologie úpravy kalů vznikající v procese gravitačního rozduřování dovoluje získat jemné podíly vysokohodnotného koksovatelného uhlí. Univerzálnost flotačního procesu lze využít



v chemickém průmyslu, v biologii, v zemědělství, v geologii, v lékařství a dalších průmyslových odvětvích a vědě.[3]

## 4.2. Principy flotace

Flotace je proces úpravy nerostných surovin a je založena na rozdílných fyzikálně – chemických vlastnostech povrchu rozduřovaných minerálních zrn, kde jednotlivé minerály mají rozdílnou specifickou povrchovou energii. Volná energie částice v libovolné soustavě se skládá z její potenciální a povrchové energie.

Potenciální energie je úměrná hmotnosti nebo objemu částice a povrchová energie je úměrná velikosti specifického povrchu částice. Velikost flotovaných zrn obvykle nepřevyší průměr 0,6mm. Při flotaci rud je maximální velikost zrn od 0,1-0,25mm. Při úpravě nerudných surovin, uhlí, grafitu, síry a jiných minerálů s malou hustotou mohou do pěnového produktu přecházet zrna až velikosti 2,0mm. V praxi se flotují zrna podstatně menší, pro která platí, že se zmenšováním průměru narůstá specifický povrch a povrchová energie několikrát převyšuje hodnotu potenciální energie.

Flotační proces lze definovat jako způsob rozduřování, založený na schopnosti určitých minerálů vyplavat na hladinu flotačního rmutu a druhých klesat a setrávat v objemu rmutu. Tato definice není docela přesná, protože neodráží podstatu dějů a jevů probíhajících ve flotačním procesu na rozhraní tří fází.

Princip flotačního procesu přesněji vystihuje definice prof. K. A. Razumova: *Flotace jako proces oddělování minerálů je založen na rozdílné schopnosti minerálních zrn přichytit a ustátit se na povrchu fázového rozhraní.*

Polohu, kterou bude mít částice malého rozměru ve vztahu k povrchu fázového rozhraní dvou fází při dotyku s povrchem fázového rozhraní, určuje pouze hodnota specifických povrchových koexistujících fází.

Rozdílná schopnost minerálních zrn udržovat se na povrchu fázového rozhraní vyplývá z rozdílných hodnot jejich specifické energie, jejíž velikost závisí na chemickém složení a stavbě strukturní mřížky minerálů. Jednotlivé minerály se od sebe liší chemickým složením a stavbou mřížky, proto mají různé hodnoty povrchové energie.

Proto je flotace univerzálním procesem, na rozdíl od jiných úpravnických rozdělovacích procesů. Univerzálnost flotačního procesu se dosahuje ještě tím, že se používají selektivně působící flotační reagenty, které se adsorbují na povrch zrn určitých minerálů, výrazně tím mění jejich povrchovou energii v požadovaném směru, podle toho jaký minerál má flotovat.

Rozdíly specifické povrchové energie koexistujících fází rozhraní kapalina – plyn se nejúčinněji využívají, když povrch rozhraní není rovný, ale zakřivený, jako tomu je u pěnové flotaci. V tomto případě se flotační rmut nasycuje bublinkami plynu, vzduchu. U pěnové flotace se spojují flotovaná zrna s bublinkami vzduchu a jsou jimi vynášena na hladinu rmutu, kde se tvoří vrstva mineralizované pěny. V praxi má tento způsob flotace největší význam.

Během stoleté praxe existence flotace se potvrdila možnost použití této rozdělovací metody na libovolné minerály. Počet minerálů a materiálů se rychle rozšiřuje a oblast použití flotace se dotýká celé řady průmyslových odvětví. [4]

### 4.3. Soustava flotačních procesů

Pěnovou flotaci charakterizují děje, které se uskutečňují na rozhraní tří fází. Jsou součástí flotačního procesu a to: *tuhá fáze* /minerální zrna/, *kapalná fáze* /voda, lépe vodný roztok/ a *plynná fáze* /vzduch/. Flotační proces je složitý a rozmanitý fyzikálně – chemický děj, který je podmíněný druhem a charakterem flotovaných minerálů, složením a vlastnostmi vody, složením a vlastnostmi flotačních reagentů, stupněm provzdušnění flotačního rmutu.

Jestliže se má flotační děj více a více rozvíjet a zdokonalovat se jako jeden z nejdůležitějších způsobů úpravy surovin, tím víc je třeba detailně poznávat vlastnosti všech tří fází, z nichž ani jedna není homogenní. Zjišťování jejich specifických vlastností a vzájemného vztahu je důležité nejen ke zdokonalení teorie, ale i samotné technologie flotačního procesu. Vlastnosti jednotlivých minerálů výchozích surovin vzájemnými zákonitostmi souvisí s charakterem interakce jejich povrchu s vodou, plyny a reagenty.

Flotační reagenty jsou právě to, co umožňuje ovládat a měnit vlastnosti povrchu jednotlivých druhů minerálů, aby se mohly vytvořit podmínky na jejich selektivní oddělování. V minulých letech ukázal rozvoj teorie flotace na velice důležitou úlohu vody ve flotačním

procesu. Na vodu se nedíváme jen jako na prostředí, ve kterém se flotační procesy uskutečňují, neboť tak rozmanité děje, probíhající ve flotačním procesu lze chápat za jen předpokladu znalosti vlastností všech tří fází – *tuhá, kapalná, plynná*. [5]

#### **4.3.1. Fáze tuhá**

Je známo, že mezi chemickým složením, charakterem struktury mřížky a vazebními silami působícími mezi stavebními částicemi uvnitř krystalu existuje úzký vzájemný vztah. V souvislosti s flotační charakteristikou jednotlivých minerálů nás zajímá především složení a strukturní mřížka minerálů, jejich fyzikální a chemické vlastnosti, energetická charakteristika mřížky a charakter sil působících na lomových plochách minerálního povrchu. Všechny tyto faktory se projevují v zákonitostech ovlivňováním interakce minerálů s plyny, vodou a flotačními reagenty.

Reálný krystal má venkovní a vnitřní morfologii závislou na podmínkách vzniku a charakteru vazebních sil. Poruchy v mřížce /mechanické, elektrické, chemické/ reálných krystalů ovlivňují fyzikální a fyzikálně – chemické vlastnosti, to se projevuje i na povrchových tzn. flotačních vlastnostech minerálních zrn. [5]

#### **4.3.2. Fáze kapalná**

Voda je prostředím pro interakci fází a všech složek rmutu a v důsledku specifických vlastností se aktivně účastní elementárního aktu flotace. Voda je velmi aktivním činitelem flotace. Velmi důležité jsou ty vlastnosti, které jsou spjaty se vznikem a stálostí hydratačních vrstev na rozhraní minerál – voda a vzduch – voda. Zajímavé a do dnešní doby neprozkoumané jsou otázky interakce vody s uhlovodíkovými skupinami molekul reagentů.

Při sledování flotovatelnosti jednotlivých minerálů upravované suroviny je třeba věnovat pozornost iontovému složení vody flotačního rmutu. Polární charakter molekuly vody se projevuje tím, že voda je výborným rozpouštědlem iontových sloučenin. Voda na povrch minerálů působí nejen tím, že ho do určité míry smáčí a vytváří na něm hydratační vrstvu, ale i tím, že způsobuje jeho rozpustnost. Rozpouštění minerálů až k rovnovážnému stavu trvá určitou dobu. Důsledkem bezprostředního vzájemného působení molekul vody s minerály flotačního rmutu je rozrušování struktury mřížky a hydratované ionty opouštějí povrch zrn do kapalné fáze rmutu a tím vytvářejí disperzní roztok.

Rychlost a stupeň rozpustnosti minerálů závisí na složení, struktuře, přirozených vlastnostech minerálu, velikosti specifického povrchu, teplotě, intenzitě míchání, přítomnosti plynů. Především kyslíku, protože proces oxidace a rozpustnosti značně ovlivňuje kontakt s více druhy minerálů. Experimentálně se zjistilo, že na oxidaci, rozpustnost i adsorpci flotačních reagentů na minerálním povrchu způsobují elektrické proudy, které vznikají v místech kontaktu minerálů s různou hodnotou potenciálů. Z tohoto důvodu se minerály rozpouštějí a ionty přecházejí z minerálu do roztoku, vzniká galvanický článek.

Produkty rozpustnosti minerálů a jiné ionty rmutu mohou mít vliv na povrchové, tzn. flotační vlastnosti minerálů. V řadě případů dochází i k reakci iontů rmutu s flotačními reagenty za vzniku nerozpustných sloučenin. To může způsobovat jejich nadměrnou spotřebu a nedostatek pro flotovaný materiál. Pro účinné ovládání a regulaci podmínek flotace je třeba znát a zohledňovat složení vody, protože jenom tak zajistíme požadovanou selektivitu a kvalitu produktů flotace.[6]

#### **4.3.3. Fáze plynná**

Při pěnové flotaci mají plyny, které jsou součástí vzduchu, důležité funkce pro průběh a výsledky rozdruzování. Do flotačního prostředí se mohou přidávat plyny jako speciální flotační reagenty jako kyslík, síra, sulfan, oxid siřičitý. Z fyzikálně chemického pohledu je účinek kyslíku a vodíku ve flotačním prostředí zajímavý. Velmi aktivně se uplatňují v elektroflotaci a při rozdruzování minerálů velmi jemné zrnitosti.

Vzduch je nezbytnou součástí flotačního rmutu a má ve flotačním procesu několikerou úlohu. Plyny obsažené ve vzduchu, především kyslík a oxid uhličitý, se aktivně účastní flotačního procesu. Kyslík se adsorbuje na minerálním povrchu, oxiduje ho a má vliv na jeho rozpustnost. Aktivní účinek plynů na minerály i na průběh flotace je podmíněný účastí vody. V mnohých případech se chemický účinek plynů projevuje formou sloučenin s vodou, např. kyselina uhličitá, kyselina sírová, které vznikají jako produkt oxidu uhličitého a oxidu siřičitého s vodou.

Vzduchové bublinky přiváděné do flotačního rmutu se přednostně spojují s hydrofobním povrchem flotovaných minerálních zrn. Po vytvoření pevného kontaktu bublinky vzduchu vynášejí přichycená minerální zrna na hladinu rmutu, kde se tvoří mineralizovaná pěna.

Vzduch, používaný ve flotačním procesu, nejenom, že vynáší flotovatelné minerály na hladinu rmutu, ale aktivně ovlivňuje vlastnosti všech tří fází flotační soustavy. Snižuje pH kapalné fáze rmutu, kyslík a kyselina uhličitá ze vzduchu reagují s povrchem minerálních zrn a dost výrazně ovlivňují flotovatelnost zrn. Plyny ze vzduchu se ve vodě různě rozpouštějí v závislosti na charakteru plynu, velikosti molekuly plynu, teplotě, tlaku, přítomnost dalších plynů ve vodě počet a množství druhů minerálů ve rmutu.

U pěnové flotace hlavní činnost plynné fáze tvoří vzduch. Velký význam má pro flotaci rozpustnost vzduchu ve vodě a také změna rozpustnosti v závislosti na teplotě a hlavně na tlaku. Rozpustnost plynů klesá se stoupající teplotou a zvětšuje se zvětšujícím se tlakem.[5]

#### **4.4. Elementární akt flotace**

Elementární akt flotace je přichycení jednotlivých zrn na povrchu fázového rozhraní. Pro vysvětlení příčin výběrového přichycení různých minerálů na mezifázovém rozhraní bylo vypracováno několik hypotéz např. adsorpční, elektrostatická atd. Tyto jsou však v dnešní době překonané.

V současnosti tento proces nejlépe vystihuje hypotéza smáčení. Podle této hypotézy způsobilost minerálů přichytit se na povrchu rozhraní vzduch – voda závisí na smáčitelnosti minerálního povrchu vodou. Čím více je povrch minerálního zrna smáčitelný, tím hůře flotuje a obráceně. Zrna hydrofobních minerálů se lehce spojují se vzduchovými bublinkami a jsou dobře flotovatelná. Hydrofilní zrna, jejichž povrch je vodou smáčený, se nemohou zachytit na bublinkách a proto jsou neflotovatelné. Smáčitelnost, a tím i flotovatelnost různých minerálů lze měnit specificky působícími flotačními reagenty, které adsorbují mění složení a vlastnosti povrchu minerálních zrn. [5]

Mechanismus mineralizace vzduchových bublin je ve flotačním procesu velmi složitý. Jde o to, že se ve flotačním prostředí nachází obrovské množství bublin a asi desetinásobné množství minerálních zrn a pravděpodobnost flotace každého z nich závisí na pravděpodobnosti jednotlivých kroků/etap/ tohoto procesu.

*Interakce povrchu minerálních zrn s flotačními reagencemi*

*Střet minerálů se vzduchovou bublinou*

*Spojení minerálů se vzduchovou bublinou*

*Působení sil proti spojení a odtrhnutí*

*Podmínky vzniku a rozpadu složitých aeroflokul*

*Procesy probíhající v pěnové vrstvě*

V reálných podmínkách flotace se každý z uvedených kroků stává ještě složitější. A to proto, že se v každé etapě procesu zúčastňují různé druhy minerálů s různými vlastnostmi povrchu, různého tvaru, velikosti. Vzájemná souvislost a podmíněnost jevů každé etapy flotačního procesu je velmi složitá a mnohostranná.[6]

#### **4.5. Flotační reagence**

Flotační reagence jsou hlavním a rozhodujícím faktorem flotačního procesu, zároveň s optimálním otevřením zrna a provzdušněním flotačního prostředí. Vývoj v oblasti flotační úpravy nerostných surovin nám ukazuje, že pokrok a účinný průběh flotačního procesu značně závisí na zdokonalování reagenčního režimu, zlepšování způsobů flotačních reagencí, rozšiřování způsobů využívání, ověřování a zavádění nových, včetně jejich kombinací.

Flotační reagence ve flotačním prostředí ovlivňují a mění povrchovou energii fázového rozhraní mezi tuhou a kapalnou fází, kapalnou a plynnou fází. Změnou energie na fázovém rozhraní se mění podmínky flotovatelnosti jednotlivých minerálů, složek které se mají navzájem oddělit flotační úpravou. Mění se počet a velikost vzduchových bublinek a stálost tvořící se mineralizované pěny. Z chemického posouzení mohou být flotační reagence organické, nebo anorganické látky, nebo sloučeniny v krystalickém a kapalném stavu.

Část z nich tvoří ve vodní fázi flotačního rmutu pravé roztoky iontové, nebo molekulární disperzity. Část z nich se rozpouští velmi málo a vytvářejí koloidně – disperzní roztoky, emulze a jemné kapičky.

Dnes existuje široká škála látek, které lze využívat a testovat jako flotační reagenty (cca 7500). V úpravnické praxi zatím používá jen nepatrné množství těchto látek. Základní požadavky na reagenty všech druhů jsou vysoká selektivnost jejich působení, standardní kvalita, nízká cena, dostatek na trhu, jednoduchá a snadná manipulace, stálost při skladování připraveného roztoku, lehká rozpustnost ve vodě, bez nepříjemného zápachu, nesmí být toxické.[5]

#### 4.6. Schéma flotace

Jenom u velmi málo případů flotace se stane, že při jedné operaci lze získat konečné produkty, koncentrát a odpad požadované kvality. Většinou to nelze, protože oddělované minerály mají velmi blízké flotační vlastnosti, proto jsou náročnější podmínky na selektivitu. V procesu flotace však potřebujeme postupně nejenom dva, ale i více produktů. Proto se používá několik flotačních operací, které jsou navzájem propojeny v technologickém schématu flotační úpravy. Schéma flotace je přesně určeným postupem jednotlivých operací flotace společně s mletím a vodním tříděním. Při vypracování a výběru flotačního schématu je nutno vycházet z charakteru a stupně prorůstu minerálů, jejich obsahu ve výchozí surovině a jejich flotovatelnosti. Dále počítáme s přítomností a charakterem velmi jemných zrn a s požadavky na kvalitu koncentrátů.

Z technologického hlediska rozlišujeme tři operace flotace *základní, přečistná a kontrolní*. První operací flotačního rozdělování suroviny obsahující jednu, nebo několik užitkových složek je základní flotace. U této operace jsou vytvořeny základní podmínky pro oddělení jednoho nebo skupiny minerálů od sebe a od průvodních horninových minerálů. Ze základní flotace se většinou ještě nezíská pěnový a nepěnový produkt požadované kvality pro blízké flotační vlastnosti rozdělovaných minerálů, nedostatečné otevření zrna. Chudý pěnový produkt a bohatý nepěnový produkt základní flotace je potřeba znova *přeředit – reředit*.

Operace opakované flotace pěnového produktu základní flotace se nazývá přečistná flotace a nepěnového produktu kontrolní flotace. Přečistná flotace má zvýšit kvalitu, nebo snížit obsah škodlivých příměsí v koncentrátu. Kontrolní flotací se získávají užitkové složky z nepěnového produktu, které by jinak skončily v odpadu. Počet přečistných a kontrolních operací flotace závisí na požadované kvalitě koncentrátu i na složení a charakteru upravované suroviny. Ve většině případů počet kontrolních flotací nebývá větší, než dvě a tři. Počet přečistných flotací se volí od dvou do čtyř, výjimečně více. Soubor základní, kontrolní a přečistné flotace se nazývá flotační proces. Konečným produktem každého cyklu flotace je konečný koncentrát a odpad. Meziprodukty jsou všechny ostatní produkty cirkulující uvnitř schématu. Tyto meziprodukty se vracejí do předcházející operace, ale mohou jít i do ostatních operací. Je důležité vracet meziprodukty do takové operace, ve které se nachází materiál s podobným obsahem flotovatelné složky, jako v meziproduktu. V případech kdy obsahují meziprodukty velké množství kalových podílů reflatují samostatně, ale vyžadují vytvoření speciální podmínky flotace.[7]

## 5. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ FLOTACI

Průběh flotačního procesu, technologické a technickoekonomické výsledky flotace závisí na velkém počtu technologických parametrů.

Řadíme k nim vlastnosti užitkových materiálů podmiňující jejich flotovatelnost, smáčitelnost, specifika ve složení surovin, jejich charakteristika zrnitosti, složení vody, hustota a teplota rmutu, reagenční režim flotace, účinnost flotačního stroje, stupeň organizace kontroly a regulace technologického procesu na úpravně. Optimální hodnoty každého z uvedených faktorů je potřeba udržovat na stálých /konstantních/hodnotách.

K základním charakteristikám složení surovin, které je nutné znát pro vypracovávání flotačního schématu, režimu a technologického postupu flotace patří obsah užitkové složky, mineralogické složení, charakter srůstu a vrůstu minerálů, přítomnost izomorfních příměsí v minerálech, druhotné změny způsobené oxidací, zvětvávání a vzájemnou aktivací produkty rozpustnosti. Jsou určovány technicko – technologicko – ekonomickými ukazateli.[3]

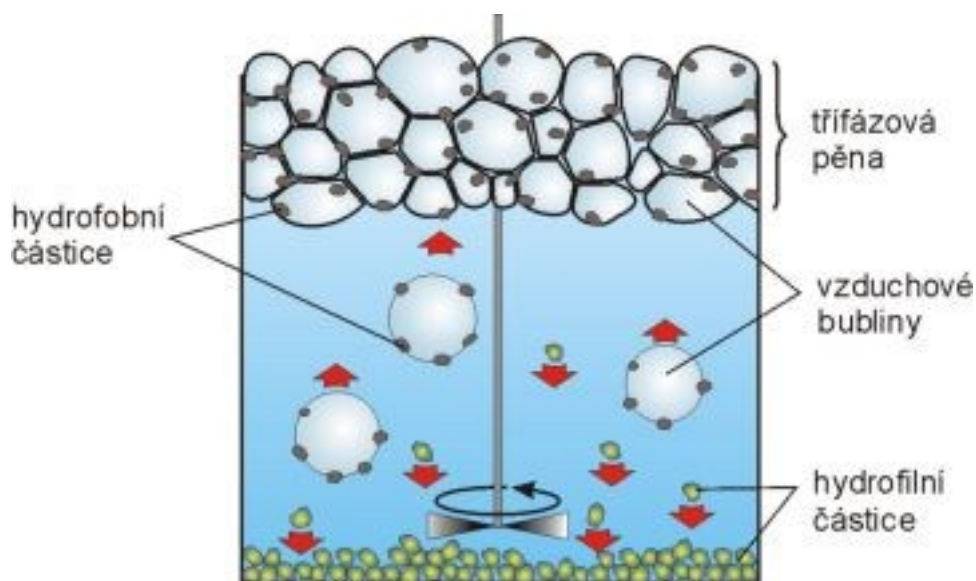


## 5.1. Smáčenlivost

Flotace je technologický postup využívající rozdílnou smáčivost práškovitých materiálů k jejich oddělování – smáčení *dobré*, smáčení *špatné*, smáčení *selektivní*.

Při praktické aplikaci se flotační dělení neprovádí jen zavedením rozmělnění směsi do vody, jejíž povrch hraničí se vzduchem nebo organickou fází – takový proces by nebyl efektivní. U nejčastěji používané *pěnové flotace* se rozmělněná směs intenzivně míchá ve vodě, kterou probublává vzduch.

Částice s *hydrofobním povrchem* ulpívají na vzduchových bublinách, které je unášejí na povrch vody. Zde se shromažďují ve formě pěny, ta se mechanicky odstraňuje a dopravuje k dalšímu zpracování. K částicím s *hydrofilním povrchem*, dobře vodou smáčeným, vzduchové bubliny nepřilnou, *sedimentují* na dně flotační odpad.[8]



Obrázek 8: Schema flotace

## **5.2. Obsah užitečné složky v surovině a zrnitost**

Stupeň výtěžnosti každé složky do jednotlivých koncentrátů závisí i na obsahu ve výchozí surovině. Při stálých podmínkách flotace výtěžnost narůstá se zvyšováním obsahu dané složky v surovině. V praxi však zjišťujeme, že uvedená závislost nemusí platit pro úpravu všech druhů surovin. Existují také případy, že je surovina velmi bohatá na užitečnou složku, ale ty velmi těžko flotují, to se projevuje výtěžností. Naopak, ze surovin s nízkým obsahem užitečné složky, která je lehce flotovatelná se vyrobí kvalitní koncentráty při vysoké výtěžnosti. Surovina připravená mletím musí splňovat určité požadavky a to :

Zabezpečit otevření srostlých a vrostlých zrn jednotlivých minerálů tak, aby se základní masa flotovatelných minerálů uvolnila do průvodní horniny a také do dalších užitečných minerálů. Vytvořit takové zrnitostní složení suroviny, aby průměry zrn flotovatelného minerálu nepřevýšily horní hranici a ani nebyly menší, než je dolní hranice zrnitosti. Po jejím překročení se dostatečně účinně nespojují minerální zrna s bublinkami vzduchu a nedochází k flotaci. Flotační praxe ukazuje, že v mnohých případech není možné dosáhnout úplného otevření zrna veškerých prorostlin jednotlivých složek. Vyžadovalo by to velmi jemné mletí celého množství výchozí suroviny. Při tom vzniká nebezpečí výrazného přemílání minerálů, a to je nevhodné z hlediska ekonomického i technologického.[5]

## **5.3. Teplota a reagenční režim flotace**

Výzkumem se zjišťuje, že velmi důležitým parametrem flotace je teplota. Ve vztahu k flotačním reagentům zesiluje jejich rozpustnost, dispergovatelnost a emulgovatelnost. Teplota aktivuje povrch minerálních zrn na interakci s reagenty a tím je možné dosáhnout vyšší selektivity a rozdružovacího efektu flotace. Zesilující účinek zvýšené teploty se projeví :

Kladným účinkem na kinetiku flotace, tím se zkrátí flotační čas

Snížením spotřeby sběrače

Zvýšením kvality koncentráta a výtěžnosti flotované složky do pěnového produktu

Tvorbou a charakteristikami flotační pěny

Zvýšením ostrosti rozdružování

Zvýšenou teplotou flotačního rmutu se mění základní charakteristiky pěny. Při zvýšené teplotě se tvoří suchá pěna obsahující bubliny většího průměru a vznikající mineralizovaná pěna je bohatší. Účinnost flotace závisí kromě jiného na rozdílných chemických vlastnostech povrchu minerálních zrn. Povrch minerálních zrn se může měnit hlavně tehdy, jestliže jsou v kapalně fázi rmutu přítomné anorganické a organické látky. Produkty rozpustnosti minerálů a jiné ve vodě rozpustné látky ve flotačním prostředí mají vliv na selektivitu flotace, tak i na spotřebu flotačních reagensů.

Velmi důležité je důsledně sledovat složení flotačního rmutu. Změna chemického složení povrchu zrna se projevuje i snížením flotovatelnosti minerálu, který se má flotovat. Složení flotačního prostředí sledujeme, jestliže se na flotační úpravně používá uzavřený vodní okruh. Druh a charakter používaných reagensů, jejich množství, pořadí dávkování do flotačního procesu a čas potřebný ke kontaktu s flotovanými částicemi se nazývá *reagenční režim flotace*. [5]

*Dávkování reagentů do flotačního procesu má své pořadí :*

V první fázi se do flotačního rmutu dávkuje řídicí flotační reagenty, které potlačí ty minerály a složky, které nemají přecházet do pěnového produktu, nebo aktivaci těch složek, jejich flotovatelnost potřebujeme vyvolat, zlepšit, zprostředkovat.

Ve fázi druhé se dávkuje sběrače, které bezprostředně podmiňují požadovanou hydrofobnost a elementární akt flotace.

Ve fázi třetí se dávkuje pěnič potřebný na tvorbu mineralizované pěny na hladině flotačního prostředí.

Uvedené pořadí může mít v jednotlivých případech své určité specifika. Když potřebují reagenty dlouhý čas pro kontakt s minerály, jedná se většinou o řídicí reagenty, dávkuje se již do mlýna, přepadu třídiče, před čerpadla dávkující rmut, nebo do mísicích zařízení. Rmut se tím lépe promíchá s reagenty. Sběrače většinou potřebují 5 až 10 minut kontaktu s flotovanými složkami, proto se dávkuje do mísicích nádrží. V některých případech je lepší dávkovat sběrač po částech např. když povrch minerálu rychle reaguje se sběračem. V těchto případech se určité množství sběrače dávkuje do mísicí nádrže a další dávky se dávkuje do flotačních komor. Postupné dávkování se využívá většinou při flotaci černého uhlí. Pěniče se dávkuje přímo do flotačních komor. Čas kontaktu s plynou fází rmutu není delší než jedna až dvě minuty. [5]

## 6. FLOTACE UHLÍ

### 6.1. Flotační proces

Na rozdíl od flotace rud se flotace uhlí zabývá jenom rozdružováním nejjemnějších podílů těžného uhlí, které vznikají otěrem a rozpadem v průběhu jeho těžby a úpravy. V praxi se používá pouze na úpravu koksovatelného uhlí. Flotace v uhelném úpravnictví je doplňkem jiných způsobů rozdružování, doplňkem velmi důležitým a často potřebným, zejména v souvislosti se stále narůstajícím podílem jemnozrnných podílů v důsledku zvýšeného stupně mechanizace dobývání uhlí.

Při pěnové flotaci přechází do pěnového produktu specificky lehčí část upravované suroviny, proto uhelná zrna o velikosti 2 až 3 mm mohou flotovat. V praxi se však flotuje vsázka menší než 0,75 až 1 mm. V našich úpravnách se většinou flotují pouze zrna menší než 0,5 mm.

Nutno brát do ekonomické souvislosti, že flotační úprava uhlí je čtyřikrát až pětkrát dražší než gravitační způsoby úpravy uhlí. Proto je snaha snížit velikost uhelných zrn přiváděných na flotaci, tím omezit celkové množství uhlí, které musí být flotací rozdružováno.[9]

Z hlediska kvality získaných koncentrátů a dosahované ostrosti rozdružování předstihuje flotace ostatní způsoby úpravy uhelných kalů a prachů. Při flotaci uhlí přechází většina upravované suroviny do pěnového produktu. To klade velké nároky na flotační stroje. V uhelných úpravnách se upřednostňují flotační stroje s oboustranným odváděním pěnového produktu. Výkon flotačních strojů kolísá v rozpětí 0,6 až 1,5 tun sušiny na 1 m objemu flotačního stroje za hodinu.

Obsah tuhých částic ve flotačním rmutu má velký vliv na průběh a výsledky flotace. Optimální zahuštění rmutu je obvykle 200 až 350 g tuhých částic na litr rmutu, to odpovídá poměru T:K = 1:4 až 1:1,25. Při flotaci méně zahuštěného rmutu jsou dosahovány lepší výsledky hlavně tehdy, když se upravuje surovina s vysokým obsahem velmi jemných zrn.[10]

### 6.1.1. Složení uhlí

Organická hmota uhlí se skládá ze dvou typů rostlinných zbytků. *Attritu* a *nestruturní hmota*. *Attritu*, jsou to strukturní prvky, které neztratily rostlinnou strukturu – spory, kutikuly, vosk. *Nestruturní hmota*, základní hmota mikrokomponentů uhlí, vznikající v důsledku dvou procesů přeměny rostlinné hmoty a to ochlazením a funizací, které se různě střídají, doplňují a vytvářejí velké množství petrografických typů. Nestruturní hmota představuje hlavní základní část vyskytující se v černém uhlí a vyskytující se ve všech typech uhlí. Základní hmota podle mnoha pozorování a výzkumu má koloidní strukturu, elementy, kterými jsou částice s kondenzovanými-aromatickými jádry. Tato hmota nekrytalizuje a při rozpouštění vytváří koloidní roztoky. Základní hmota je amorfní a má dvojvrstvé uspořádání molekul. Složku uhlí tvoří *macerály* a jsou rozděleny do tří skupin, které se liší svým chemickým složením a různými fyzikálními vlastnostmi. Jsou to *exinit*, *vitrit*, a *inertinit*. [10,12]

Při porovnání chemického složení macerálů, zjistíme, že inertinit obsahuje největší množství uhlíku. Obsah vodíku je rozdílný. Z chemického hlediska můžeme konstatovat, že vitrit se v mnohých charakteristikách podobá exinitu. Liší se v těchto faktorech:

*Exinit je méně rozpustný než vitrit v pyridínu*

*Vitrit není rozpustný v nitrobenzenu a dichlorbenzenu na rozdíl od exinitu*

*Vitrit se dá lépe oxidovat na huminové kyseliny, exinit je odolnější v oxidaci a nevytváří huminové kyseliny*

*Vitrit je možné lépe redukovat s lithiem v ethylaminu a produkty této redukce jsou velmi dobře rozpustné v pyridínu. Exinit se hůře redukuje a produkty jsou hůře rozpustné.*

Tyto rozdíly jsou způsobeny tím, že exinit obsahuje více C a H ve formě alifatických skupin, proto ve vitritu vznikají zvláštní intermolekulární síly polárního charakteru. Macerály mají rozdílné povrchové vlastnosti a to je základ na kterém je postavena flotace. Úhel smáčení olejové emulze a uhlí se mění v rozmezí 50 stupňů. Největší úhel dotyku má klatit a durit, nejmenší vitrit. Hodnota úhlu smáčení se a flotovatelnost se mění v závislosti na obsahu uhlíku v uhlí. Maximální hodnoty úhlu smáčení charakterizují naše nejcenější druhy černého uhlí a to koksové mastné uhlí a koksové uhlí. Snižování flotovatelnosti uhelných litotypů je v pořadí, klarit, vitrit, fuzit, a durit. Znalost macerálové analýzy je ve flotaci uhlí velmi důležitá a bez ní není možné správně vyhodnotit flotační experimenty. [9,13]

### 6.1.2. Příměsi

Podmínky a efektivita flotace závisí na minerálních příměsích a na jejich disperzitě. Velká část příměsí jako hlíny, písky se do uhlí dostává z okolních hornin. Hlíny se ve vodě rozmácejí a přecházejí do jemně dispezních kalů. Část z nich však proroste s uhlím a nedostává se do vody ani při jemném mletí. Kromě těchto venkovních příměsí se do uhlí dostávají i vnitřní příměsi, které jsou rostlinného původu. Jejich množství se pohybuje kolem 1-2%.

*Některé druhy minerálních příměsí a jejich vliv na flotaci:*

*Sulfidy* - pyrit, markazit, znehodnocují koncentrát sírou, liší se zvýšenou flotační aktivitou, jemná zrna mohou být flotovaná stejnými reagenty jako uhlí, při oxidaci flotovatelnost klesá.

*Jíly* – kaolín, jílové břidlice, hlíny, při rozmočení a promíchání vytvářejí velké množství jemně dispergovaných kalů, což silně zhoršuje flotaci.

*Uhelné a hořící břidlice* – mají mnoho stejných vlastností jako uhlí, liší se zvýšenou hydrofobností, takže se při flotaci dostávají do koncentráту.

*Minerály se zvýšenou rozpustností* – sádrovec a jiné rozpustné soli, zvyšují koncentraci elektrolytu ve rmutu, vytvářejí obaly na zrnech uhlí.

*Nesulfidické minerály* – silikáty, oxidy, karbonáty, malá rozpustnost, jsou hydrofilní, v případě dostatečné zrnitosti se od uhlí lehce oddělí flotací.[9]

## 6.2. Flotovatelnost uhlí

Flotační schopnost má jenom černé uhlí. Hnědé uhlí a lignity nelze flotovat. Flotovatelnost uhlí závisí na jeho prouhelnění a souvisí s nepolárním charakterem povrchu. Důležitá je vysoká sorbční schopnost. Uhlí se skládá ze čtyř mikrolitotypů ,vitrit, klarit, durit a fuzit, které se odlišují flotační schopností. Rozdílná flotační aktivita umožňuje selektivní flotaci lesklých složek od matných. Výraznější flotovatelnost mají vitrit a klarit, projevuje se to kratším flotačním časem v porovnání s fuzitem a duritem.

Mikrolitotypy se také od sebe liší stupněm hydrofobnosti a rozdílná je tím i jejich kinetika flotace. Projevuje se vzájemným poměrem vyflotovaného typu uhlí do příslušného pěnového produktu. Tuto závislost dokázal V.I. Klassen na složení koncentráту odebraného z různých míst flotační baterie. Flotační čas jednotlivých typů uhlí bývá od 3 do 12 minut. V prvních flotačních komorách flotační baterie přechází do pěny především vitrit. Klarit a matné složky uhlí flotují až v dalších komorách, protože potřebují delší flotační čas.[9]

Přírodní uhlí je chemickou a fyzikální směsí uhlíku, vodíku, dusíku, síry, kyslíku, vlhkosti a minerální hmoty. Flotační vlastnosti těchto prvků mohou být zhruba odhadovány z testovacích dat. Hydrokarbonáty ,které jsou reprezentovány dřevěnou pryskyřicí a včelím voskem jsou hydrofilní a mohou být více flotovatelné. Krystalický uhlík reprezentovaný Ceylonským grafitem je dobře flotovatelný. Neflotovatelnost kyslíku a minerální hmoty je indikována neflotovatelným lignitem a živočišným uhlím.

Optimální hodnota pH pro flotaci uhlí je v intervalu od 6 do 7, optimum je obvykle okolo pH=7, kdy se dosahuje maximální výtěžnosti uhlí do koncentráту. Teplota rmutu v rozmezí od 3 do 50 C prakticky neovlivňuje flotovatelnost uhlí. Vliv na flotovatelnost uhlí však má zvětrávání a oxidace. Černé uhlí, které bezprostředně z těžby postupuje do úpravy, flotuje lépe ,než uhlí vystavené atmosférickým vlivům. Oxidace povrchu uhlí způsobuje zhoršenou flotovatelnost, která probíhá při běžných atmosférických podmínkách. Tvořící se kyselé skupiny na povrchu uhlí snižují hydrofobnost a flotovatelnost uhlí. Rozpuštěním povrchové oxidované vrstvy se dosáhne flotovatelnost oxidovaného uhlí. Toto se provádí účinkem 1% roztoku justifikované sody, flotace probíhá v zásaditém prostředí.[10]

### 6.3. Schéma flotace uhlí

Podstatně jednodušší než schémata flotace rudných surovin jsou schémata flotace uhlí. Jedná se o otevřené systémy, které obsahují ve flotačním cyklu základní a kontrolní operaci. Rozdružování uhelných a hlušinových kalů je stále aktuální, a to nejen z důvodů kvality vsázky, ale i vývoje nových flotačních reagensů. Pokud požadujeme tuto činnost s optimálním ekonomickým efektem, nelze pouze vyvíjet flotační stroje, zlepšovat technologii a zavádět automatizační celky.

Účinný průběh flotace uhlí vyžaduje používat jako flotační reagenty látky chemicky co nejúčinnější se stálou kvalitou. Stálý nárůst vysokého stupně mechanizace těžby uhlí zvyšuje produkci nejjemnějších částic včetně popelnatosti prachových, nebo kalových podílů těžného uhlí. Na úpravě uhlí tvoří vsázku do flotace jemnozrnné podíly vytříděné z těžné suroviny a otěrem vzniklé kalové částičky v procesech úpravnických operací. Vsázku tvoří různě velká zrna uhlí a hlušiny a má tedy poydisperzní charakter. Účinnost flotace uhlí se zvyšuje racionálním rozdělením vsázky vodním tříděním v hydrocyklonu na dvě třídy a to písky a přepad. Na flotační rozdružování se vedou buď jen samostatné písky, nebo obě třídy na samostatné flotační linky.

V černém uhlí pro energetické účely je nutno snížit na minimum obsah síry, především z ekologického hlediska se tím musí zabránit unikání emisí oxidů síry do ovzduší. Vícetupňová schémata flotace umožňují redukovat obsah pyritu a získat koncentrát s přípustným obsahem síry. Jsou dvě základní schémata flotace odsiřování uhlí. Jedno předpokládá potlačení flotovatelnosti pyritu a flotaci uhlí. U druhé se předpokládá flotace pyritu a čisté uhlí se získá jako nepěnový produkt, které se dále flotuje. Z našich úpraven vycházejí dva konečné produkty, koncentrát a odpad. Popelnatost koncentráту snižujeme přečistnou flotací a kvalitu koncentrátu zlepšujeme výrobou meziproduktů. [9]



### 6.3.1. Uhelní reagence

Flotační reagence pro flotaci uhlí se podle Klassena dělí na dvě základní skupiny :

Nepolární (oleje) – představiteli jsou kerozíny heteropolární – stavbou molekul alkoholy

Reagence – oleje mají hlavně sběrací vlastnosti .Emulgují se na malé kapičky, které se přichycují k hydrofobním částicím, zvětšují jejich hydrofobnost. Další vlastností je flokulace uhelných částic a regulace pěny.

Heteropolární reagence jsou aktivními pěniči a při fotaci plní sběrací činnost. Adsorbují polárními skupinami na hydrofilnějších místech povrchu uhelných částic. Největší sběrací schopnosti reagence s hydroxylovou polární skupinou, sulfo skupina a karboxy skupina. Také alkoholy velké sběrací schopnosti s 6-8 uhlíky v nepolární části.

Používaly se zatím flotační oleje Deza, solarový olej, oxidovaný nebo sulfonovaný petrolej. V současnosti nefenolitické reagence Flotakol NE a Flotakol NX. Sběrací složkou je minerální vřetenový olej (80-85%). Ve Flotakolu NE je pěnотvorná složka tvořena estery vyšších alkoholů (20%). Spotřeba kolísá v závislosti na charakteru flotovaného uhlí a podmínkách úpravy od 0,7-2,2 kg na tunu sušiny ve rmutu. Při použití nepolárních uhlovodíků jako sběračů je vhodná jejich emulgace, zvýší se účinnost a sníží spotřeba. Aminy jsou účinným sběračem pro zvětralé a oxidované povrchy (záporný náboj na povrchu oxidovaných zrn uhlí).

Při flotaci uhlí používáme i vápno dávkované jako vápenné mléko  $\text{Ca(OH)}_2$ . Spotřeba činí od 1 do 5 kg na runu. Vápno potlačuje vliv jemných kalových podílů ve rmutu a zároveň flotovatelnost pyritu a markazitu (nositeli síry v uhlí, nežádoucí ekologicky). Podobně se chová i soda. Když je pyrit prorostlý jemně s uhelnou hmotou, jeho flotovatelnost nelze potlačit a pak se v získaném koncentrátu tímto omezuje možnost snížení obsahu síry. U flotace uhlí patří k technologickým zvláštnostem potlačení škodlivých vlivů jemně dispergovaných hlinito-jílových kalů, sádrovce, organických látek. Na dispergování velmi jemných zrn se používá vodní sklo, pyrofosfáty, sulfitový louh. [11]

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části práce je popsána petrologická charakteristika testovaného černého uhlí z Dolu Darkov jakož i charakteristika testovaných pyrolýzních olejů získaných pyrolýzou hnědouhelných dechtů.

### 7. PETROLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA TESTOVANÝH VZORKŮ

Pro rozbor flotovatelnosti černého uhlí z Dolu Darkov je nutné znát petrologickou charakteristiku dodaných vzorků. Petrologická analýza dodaných vzorků byla provedena v akreditovaných laboratořích firmy Arcelor Mittal, a.s. Ostrava. Výsledky analýzy pro surové kaly z těžby Dolu Darkov jsou uvedeny v tabulce č. 1 a na obrázku č. 1. Z výsledků analýzy vyplynulo, že se jedná o uhlí, které odpovídají uhlí koksovému žírnému.

**Tabulka 1: Černé uhlí - Důl Darkov - odraznost**

Typová analýza (%)		Odraznost vitritu (%)	
D:	Ka:	Rn:	1,094
G: 8	Kb:	Rmin:	0,910
Ž: 58	T:	Rmax:	1,269
Kž: 34	A:	s:	0,092

**Vysvětlivky:**

D - uhlí plamenné

G - uhlí plynové

Ž - uhlí žírné

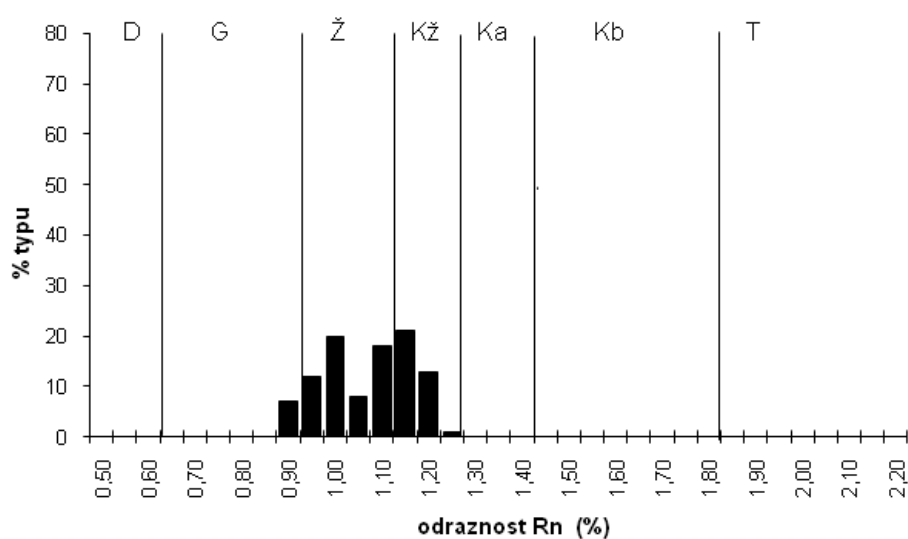
Kž - uhlí koksové-žírné

Ka - uhlí koksové I. typu

Kb - uhlí koksové II. typu

T - uhlí antracitové

Rn – náhodná odraznost stanovená dle ČSN ISO 7404-5



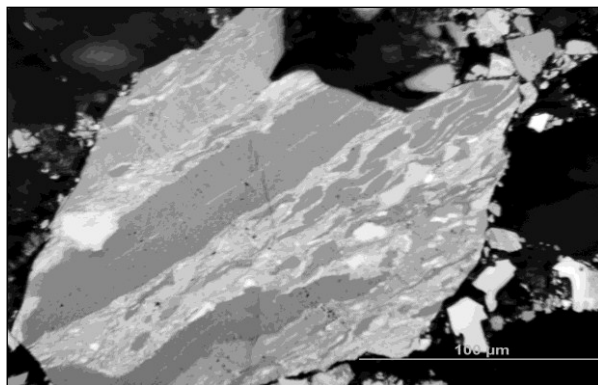
**Obrázek 9: Graf odraznosti surových kalů z těžby z Dolu Darkov**

Z petrologické analýzy vyplynulo, že uhlí obsahuje všechny typy macerálových skupin. Macerálová skupina vitrinitu je zastoupená colinitom a vitrodetrítom. Telinit je ojedinělý. Kolonit je viazaný na jílové minerály a tvoří matici s klarinitem. Percentuálně zastúpenie tejto skupiny je 55.6 %, vrátane anorganické příměs . V přepočtu na čistou uhelnou hmotu jeho obsah vzrůstá na 62,9 %.

Liptinitová skupina je tvořena sporinitem, speciálně fragmenty megasporitu (Obr. 2). Kutinit je velmi ojedinělý. Buňky telinitu jsou vyplněny resinitem. Fragmenty liptodetrinitu jsou velmi časté. Procentuální podíl této skupiny je 13.5% (včetně anorganické příměsi) a po přepočtu na čistou uhelnou hmotu je to 15.3%.

Zastoupení macerálové skupiny inertinitu bylo 19.3% a po přepočtu na čistou uhelnou hmotu to bylo 21,8 %. V této skupině převládají fragmenty fusainu a dále pak mikrinit a telinit. Semifusinit byl sporadický.

Anorganická příměs je tvořená jílovými minerály cca 6,5%, pyritu ve vzorci bylo pouze 0,9% Karbonáty byly sporadické (0,8%) a většinou plnili zrna kolinitu.



Obrázek 10: Megaspornite

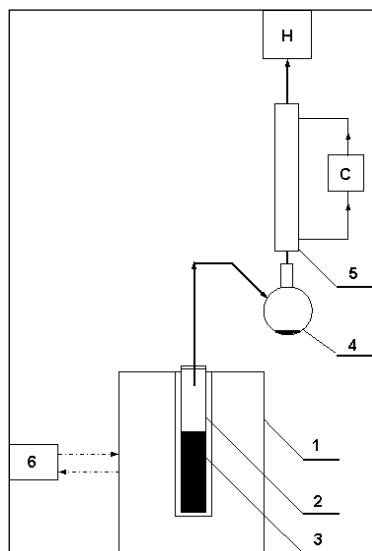
### 7.1. Metodika a výsledky pyrolýzních testů

Pro všechny testy pyrolýzy byla použita laboratorní pyrolytická jednotka, sestavena v IRSM AS CR Praha. Pyrolýza probíhala v křemenném reaktoru ( $\varnothing$  60 mm, délka 450 mm) umístěném ve vertikální trubkové peci ovládané mikroprocesorem.

#### Podmínky pyrolýzy:

Rychlost ohřevu:  $5 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$  do konečné teploty  $900 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , doba ohřevu 30 minut při  $900 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .  
Váha vzorku byla 50 g (zrno pod 3 mm). K testům pyrolýzy byly použité skořápky ořechů, skořápky z arašidů, cibulové slupky a pecky z broskví.

K pyrolýzním testům byla použita aparatura uvedená na obr. 11.



Obrázek 11: Laboratorní pyrolýzní jednotka

#### Vysvětlivky:

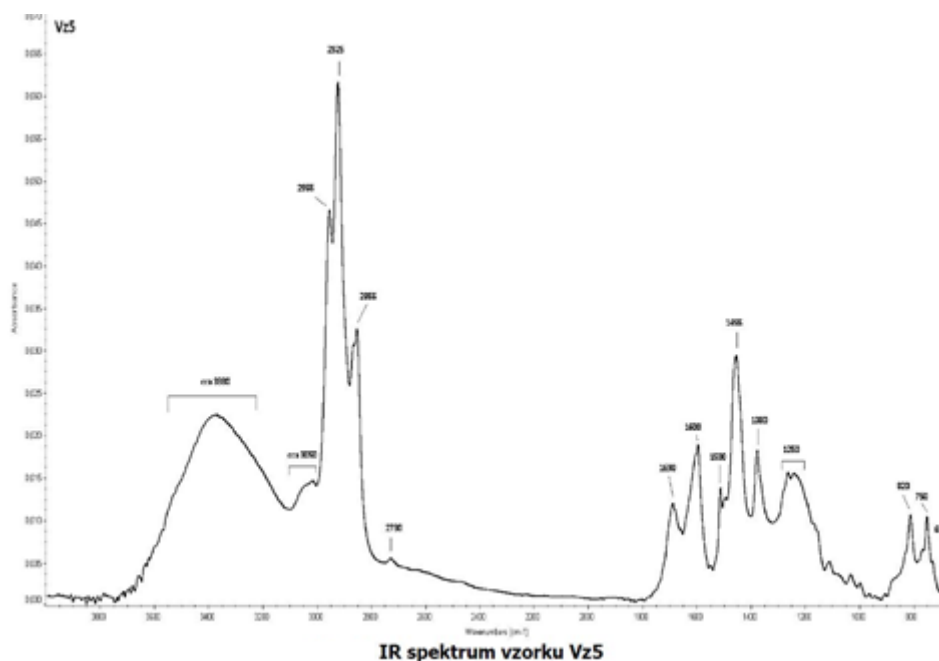
1 - vertikální trubková pec, 2 - křemenný reaktor, 3 - pyrolyzovaný vzorek, 4 - baňka s tekutými produkty, 5 - chladič, 6 - programovatelná řídicí jednotka teploty, H - plynojem se záznamem, objemu plynu, C - chladičí jednotka

Charakteristika získaných olejů byla analyzována v laboratořích VUCHEM VŠB-TU Ostrava na přístroji FT-IR spektrometr Nicolet NEXUS 470, firmy ThermoScientific, USA. Vzorky byly měřeny technikou ATR na jednodrazovém germaniovém krystalu. Vzorek byl nakápnut na ATR krystal a následně měřen. Spektra byla měřena v oblasti  $4000 - 675 \text{ cm}^{-1}$ ; počet scanů 512; rozlišení  $6 \text{ cm}^{-1}$ .

Naměřená spektra byla upravena následně:

- odstráněny pásy  $\text{CO}_2$  (kolem  $2300 \text{ cm}^{-1}$ )
- ATR korekcí provedeny do formy transmisních spekter
- automatické proložení základní linie

Na obr. 12 je uvedeno IR spektrum vzorku pyrolýzního oleje získaného z pyrolýzou hnědouhelného dehtu z Dolu Bílina. Další spektra hnědouhelných dehtů nejsou uvedeny, protože jsou velmi obdobná.



Obrázek 12: IR spektrum vzorku pyrolýzního oleje z Dolu Bílina

Na spektru jsou patrné tyto důležité pásy:

3380  $\text{cm}^{-1}$  valenční vibrace skupiny -OH

3050  $\text{cm}^{-1}$  valenční vibrace skupiny =CH

2955  $\text{cm}^{-1}$ , 2925  $\text{cm}^{-1}$ , 2855  $\text{cm}^{-1}$  valenční vibrace skupiny -CH<sub>3</sub> a -CH<sub>2</sub>

2730  $\text{cm}^{-1}$  valenční vibrace skupiny -CH v aldehydech

1690  $\text{cm}^{-1}$  valenční vibrace skupiny C=O v aromatických aldehydech a/nebo ketonech

1600  $\text{cm}^{-1}$ , 1500  $\text{cm}^{-1}$  valenční vibrace skeletální vazby C=C v aromatických uhlovodících

1455  $\text{cm}^{-1}$ , 1380  $\text{cm}^{-1}$  deformací vibrace skupiny -CH<sub>3</sub> a -CH<sub>2</sub>

1250  $\text{cm}^{-1}$  deformací vibrace skupiny C-OH ve fenolech

820  $\text{cm}^{-1}$ , 750  $\text{cm}^{-1}$ , 695  $\text{cm}^{-1}$  mimo rovinné deformací vibrace skupiny =CH v aromátech

Z výsledků IR spektroskopie vyplynulo, že získané spektra jednotlivých hnědouhelných dehtů jsou velice podobné a typické spektrum pro všechny vzorky je uvedeno na obr. 12. Ze spektra je patrné, že vzorek obsahuje zejména směs alifatických uhlovodíků (viz pásy 2955  $\text{cm}^{-1}$ , 2925  $\text{cm}^{-1}$ , 2855  $\text{cm}^{-1}$ , 1455  $\text{cm}^{-1}$  a 1380  $\text{cm}^{-1}$ ). Přičemž převažují nerozvětvené řetězce alifatických uhlovodíků (pás 2955  $\text{cm}^{-1}$  náležící asymetrické valenční vibraci skupiny -CH<sup>3</sup> je mnohem méně intenzivní než pás 2925  $\text{cm}^{-1}$  náležící asymetrické valenční vibraci skupiny -CH<sub>2</sub>).

Ve vzorku se dále nachází příměs aromatických uhlovodíků (viz pásy 3050  $\text{cm}^{-1}$ , 1600  $\text{cm}^{-1}$ , 1500  $\text{cm}^{-1}$ , 820  $\text{cm}^{-1}$ , 750  $\text{cm}^{-1}$  a 695  $\text{cm}^{-1}$ ) a rovněž příměs fenolických uhlovodíků (viz pásy 3380  $\text{cm}^{-1}$  a 1250  $\text{cm}^{-1}$ ).

Pás 1690  $\text{cm}^{-1}$  svědčí o přítomnosti aromatických aldehydů a/nebo ketonů (pravděpodobně jako produktu oxidační degradace uhlovodíků). Přítomnost aldehydů potvrzuje výskyt pásu 2730  $\text{cm}^{-1}$  ve spektru.

## **7.2. Metodika provádění flotačních testů**

Flotační testy byly realizovány v laboratoři Institutu environmentálního inženýrství na laboratorním flotačním přístroji VRF-1, výrobku RD Příbram. Jde o měsidlový flotátor s vlastním nasáváním vzduchu. K testování selektivnosti flotačních olejů byly tedy použité 3 oleje vzniklé po pyrolýze hnědouhelných dehtů.

Flotace byla provedena za těchto podmínek:

- hustota rmutu: 50g/l, 100 g/l a 150 g/l
- dávka sběrače: 500 g/t.
- Flotační čas: 5 minut

Po ukončení flotace byly získané produkty přefiltrovány, vysušeny, zváženy, zhomogenizovány a podrobeny chemické analýze na obsah popela. Výsledky jednotlivých experimentů udávají tabulky 2 až 4.

Tabulka 2: Výsledky flotace při zahuštění rmutu 50 g/l

Flotační sběrač	Produkt	Výnos [%]	Obsah popela [%]
Hnědouhelný decht z dolu Bílina	K	82,00	12,02
	O	18,00	66,66
	P	100	21,86
Hnědouhelný decht z dolu ČSA	K	85,68	12,70
	O	14,32	68,35
	P	100	20,67
Hnědouhelný decht ze Sokolovské uhlené,a.s.	K	84,63	11,31
	O	15,37	79,16
	P	100	21,73

Tabulka 3: Výsledky flotace při zahuštění rmutu 100 g/l

Flotační sběrač	Produkt	Výnos [%]	Obsah popela [%]
Hnědouhelný decht z dolu Bílina	K	85,00	10,00
	O	15,00	74,66
	P	100	19,70
Hnědouhelný decht z dolu ČSA	K	85,68	10,7
	O	14,32	78,35
	P	100	20,39
Hnědouhelný decht ze Sokolovské uhlené,a.s.	K	80,63	9,31
	O	19,37	79,16
	P	100	22,84

Tabulka 4: Výsledky flotace při zahuštění rmutu 150 g/l

Flotační sběrač	Produkt	Výnos [%]	Obsah popela [%]
Hnědouhelný decht z dolu Bílina	K	72,00	12,02
	O	28,00	54,66
	P	100	23,96
Hnědouhelný decht z dolu ČSA	K	75,68	10,7
	O	24,32	68,35
	P	100	24,72
Hnědouhelný decht ze Sokolovské uhlené,a.s.	K	84,63	10,31
	O	15,37	79,16
	P	100	20,89

Z výsledků jednotlivých experimentů vyplynulo, že nejlepší kvality flotačních koncentrátů se dosahuje při zahuštění 100 g/l, kde byla dosažena kvalita flotačních koncentrátů pod 10 % obsahu popela při vysokém výnosu flotačních koncentrátů nad 80 %. Ze zkoumaných sběračů vyplynulo, že všechny testovány pyrolýzní oleje je možné aplikovat jako flotační sběrače.



## 8. Závěr

Cílem práce byla optimalizace flotace černouhelných kalů z Dolu Darkov z OKD. Jako flotační sběrače byly aplikovány pyrolýzní oleje získané pyrolýzou hnědouhelných dehtů ze Severočeské hnědouhelné pánve a to konkrétně z Dolu Bílina, Dolu ČSA a ze Sokolovské uhlené, a.s. Z výsledků práce vyplynulo, že optimální zahuštění rmutu je 100 g/l, při kterém je možné dosáhnout požadovanou kvalitu flotačních koncentrátů pod 10 % obsahu popela. Zdá se, že do budoucna bude možné využití různých pyrolýzních olejů jako nových flotačních sběračů, protože jejich cena je nízká a mohou nahradit doposud používané drahé zahraniční sběrače.

## 9. Literatura

- [1]BEDEKOVÍČ, G., FEČKO, P., RIEDLOVÁ, S. *Testing of coal flotability from mine Lazy*. Sborník: 7<sup>th</sup> Conference on Environment and Mineral Processing VŠB-TU Ostrava, 26.-28.6.2003, s. 397-402. Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0248-1.
- [2]BEDEKOVÍČ, G., FEČKO, P., RIEDLOVÁ S., DROBÍK M. *Testování flotačních sběračů na vzorcích uhlí z dolu Lazy*. Sborník: Recyklace odpadů VII, VŠB-TU Ostrava. 10.X.2003, s. 149-154. Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0245-7.
- [3]CROZEIR, R. D. *Flotation - theory, reagents and ore testing*. Pergamon Press, 1992. ISBN 0-08-041864-3.
- [4]FEČKO, P., KRÍŽ, V., VALEŠ, J., KUŠNIEROVÁ, M., KAŠPÁRKOVÁ, A.: *Application of agricultural residues from pyrolysis in flotation of black coal*. XXV. International Mineral Processing Congress 2010, Brisbane, Australia, 6.-10.9.2010, s.3547-3554. ISBN 89781921522284.
- [5]FEČKO, P., OVČAŘÍ, P., RIEDLOVÁ, S., SKÓRKA, V., TORA, B. *The Investigation on the flotation of coal from mine Staszicz (Poland)*. 12<sup>th</sup> International Conference on Coal Science, Cairns, Australia, 2.-6.11.2003, ref.12Pa.
- [6]FEČKO, P., PEČTOVÁ, I., RIEDLOVÁ, S., KUČEROVÁ, R. *Testing of Coal Floatability from Mine CSA*. Sborník: Proceedings of 10th International Mineral Processing Symposium, Cesme, Turkey, 5.-7.X.2004, s. 927-934. ISBN 975-7946-21-4.
- [7]GEBHARDT, J. E., MANKOSA, M. J., LEE, K. Y., BROUSSAUD, A. *Fine coal flotation in the Microcel<sup>TM</sup> column*. Processing of the 12th International Coal Preparation Congress, Cracow, Poland, May 23-27, 1994, s. 773-778. ISBN 2-88449-139-2.
- [8]KMEŤ, S. *Flotácia*. Vydavateľstvo Alfa, Bratislava, 1992. 289 s. ISBN 80-05-00971-2.
- [9]LASKOWSKI, J. *Coal Flotation and Fine Coal Utilization*. Elsevier, Amsterdam, 2001. 368 s. ISBN 0-444-50537-7.
- [10] ROUBÍČEK, V., BUCHTELE, J. *Uhlí, zdroje, procesy, užití*. Ostrava, MONTANEX, 2002. 173 s. ISBN 80-7225-063-9.
- [11] ROUBÍČEK, V., BUCHTELE, J. *Chemie uhlí a jeho využití*. VŠB-TU, Ostrava 1996. 216 s. ISBN 80-7078-406-7.
- [12] SABLÍK, J. *Flotacja węgli kamienných*. GIG Katowice

## 10. Seznam obrázků

Obrázek 1: Agitační flotátor.....	11
Obrázek 2: Kolónový agitační flotátor.....	11
Obrázek 3: Pneumatický vícekomorový flotátor .....	12
Obrázek 4: Pneumatický flotátor.....	12
Obrázek 5: Kolónový pneumatický flotátor.....	13
Obrázek 6: Vykuový flotátor.....	13
Obrázek 7: Hydraulický flotátor.....	14
Obrázek 8: Schema flotace.....	25
Obrázek 9: Graf odraznosti surových kalů z těžby z Dolu Darkov.....	35
Obrázek 10: Megasperinite .....	36
Obrázek 11: Laboratorní pyrolýzní jednotka .....	36
Obrázek 12: IR spektrum vzorku pyrolýzního oleje z Dolu Bílina.....	37

## 11. Seznam tabulek

Tabulka 1: Černé uhlí - Důl Darkov - odraznost.....	34
Tabulka 2: Výsledky flotace při zahuštění rmutu 50 g/l.....	40
Tabulka 3: Výsledky flotace při zahuštění rmutu 100 g/l .....	40
Tabulka 4: Výsledky flotace při zahuštění rmutu 150 g/l .....	40